

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA USANDO ENERGIA SOLAR E ELÉTRICA, COM REAPROVEITAMENTO DE CALOR

Marco Antônio Silva Pereira¹
Carlos Renato Borges dos Santos²

RESUMO

Este artigo consiste em uma pesquisa sobre os vários meios de aquecimento de água para o banho, buscando o uso de alternativas para viabilizar o acesso da população de baixa renda a esses benefícios. A ideia principal é fazer uma combinação dos vários sistemas existentes a fim de produzir um protótipo eficiente e de baixo custo. O protótipo constitui-se de um sistema de aquecimento solar, recuperador de calor e de um misturador de água automatizado. A representação do sistema foi obtida por meio de uma maquete do protótipo ecológico de chuveiro, englobando as diversas tecnologias estudadas.

Palavras-chave: Aquecedor solar. Recuperador de calor. Misturador automatizado. Microcontrolador.

PROTOTYPE OF A WATER HEATING SYSTEM FOR LOW-INCOME POPULATION USING SOLAR ENERGY AND POWER, WITH REUSE OF HEAT

ABSTRACT

This paper consists of a survey on the various means of heating water for the bath, trying to use of alternatives to allow access of the low-income population. The main idea is to make a blend of various existing systems in order to produce an efficient and cost effective prototype. The prototype consists of a system of solar heating, heat recovery and an automated water mixer. The representation of the system was obtained through a model of the ecological prototype shower encompassing the several studied technologies.

Keywords: Solar heating. Heat recovery. Automated mixer. Microcontroller.

¹ Mestrando em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEL), associação entre a Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ) e o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Graduado em Engenharia Elétrica e professor substituto no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) *Campus* Formiga. E-mail: marcoengeletrica.ifmg@hotmail.com.

² Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal de Goiás (IFG) e professor do IFMG - *Campus* Formiga. E-mail: carlos.renato@ifmg.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica e o esgotamento das matrizes energéticas tradicionais, tais como as usinas hidrelétricas e termelétricas, resultam em uma necessidade de buscar formas alternativas de produzir energia, ou seja, formas renováveis que produzam de forma eficiente sem degradação ambiental considerável (CRISPIM, 2010).

Tendo em vista este problema mundial, idealizou-se um projeto que reduzisse o consumo de energia elétrica de um chuveiro doméstico, um dos principais colaboradores para o consumo total de energia em uma residência.

Atualmente, existem vários sistemas alternativos de aquecimento de água, porém muitos deles apresentam gastos maiores que os do chuveiro elétrico convencional. Para garantir que realmente ocorra uma eficiência energética é necessário realizar uma combinação dos sistemas existentes, fazendo uso das vantagens de cada um.

Uma maneira encontrada é a utilização do aquecedor solar que, juntamente com o uso de um recuperador de calor e de um sistema de sensores de temperatura para determinar quando é necessário aquecer a água usando a energia elétrica, forma um sistema totalmente viável e com uma eficiência maior do que a de cada sistema separado.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em uma residência comum são encontrados diversos equipamentos que, para funcionamento, necessitam de energia elétrica. A seguir, no Gráfico 1, estão apresentados os consumos percentuais de alguns equipamentos comuns em uma residência, de acordo com a Furlanetto e Possamai (2001).

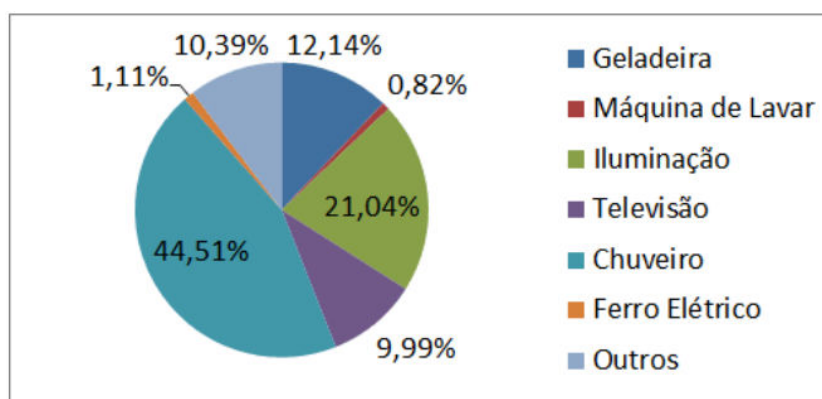


Gráfico 1- Consumo de energia percentual por equipamento
Fonte: Furlanetto e Possamai (2001).

Nota-se que, dentre os equipamentos, o de maior consumo de energia é o chuveiro elétrico. Em razão disso, o presente artigo propõe-se a desenvolver um modelo físico reduzido de um sistema de aquecimento de água com alto rendimento.

Além de aumentar a eficiência dos sistemas de aquecimento de água, o projeto poderá mudar o tipo de tarifação de energia de uma residência, uma vez que irá reduzir o consumo para que a população de baixa renda possa se enquadrar em tarifação social e obter isenção do ICMS. A tarifa de energia elétrica, chamada de tarifa residencial social, foi uma forma de o governo federal tentar dar acesso, via preços considerados por ele razoáveis, aos benefícios da energia para consumidores de baixa renda. O valor da tarifa para os consumidores de baixa renda é inferior ao valor da tarifação convencional, o que justifica o enquadramento social (ZENHA, 2006).

De acordo com o consumo de energia de uma residência, o valor pago por cada kWh varia, sendo mais elevados os preços para um consumo maior. A Tabela 1 mostra a tarifação residencial de baixa renda de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL, 2015) Nº 1872 de 08 de abril de 2015, cujos valores são referentes à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). A Tabela 2 mostra o preço que seria pago por uma residência que se enquadra em tarifação residencial normal.

Tabela 1- Tarifa Residencial de baixa renda

Tensão Baixa: Residencial de baixa renda	
Faixa de consumo	Preço (R\$/kWh)
De 0 a 30 kWh	0,17620
De 31 a 100 kWh	0,30206
De 101 a 220 kWh	0,45309
Acima de 220 kWh	0,50343

Fonte: Brasil (2015).

Tabela 2 - Tarifa Residencial normal

Tensão Baixa: Residencial	
Faixa de consumo	Preço (R\$/kWh)
Tarifa Plena	0,50974

Fonte: Brasil (2015).

Outro ponto considerável é a curva de carga do consumidor residencial. A curva caracteriza-se por um consumo praticamente constante durante o dia inteiro com um aumento no fim da tarde e um pico de demanda, provocado principalmente pelo uso do chuveiro

elétrico, no período entre 18 e 21 horas que é chamado de horário de ponta (FRANCISQUINI, 2006). No Gráfico 2, é possível verificar a curva diária de carga de um consumidor residencial.

Utilizando o modelo especificado neste projeto, além das vantagens já mencionadas, pode-se obter uma redução de consumo em horário de ponta, aliviando a demanda do sistema elétrico brasileiro.

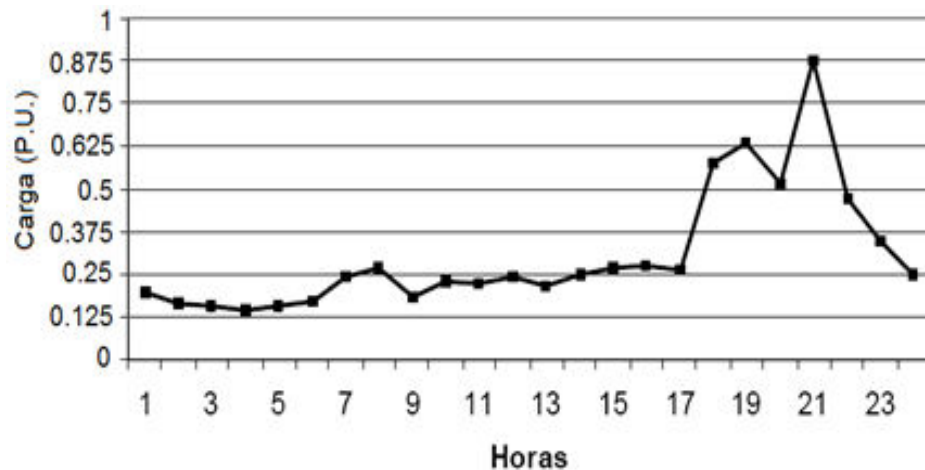


Gráfico 2 - Curva de carga diária de um consumidor residencial
Fonte: Francisquini (2006).

3 ALTERNATIVAS PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO

Uma das alternativas, existentes no Brasil, para aquecer a água destinada ao banho é o aquecedor solar. Esse sistema consiste, basicamente, na utilização do calor do sol para esquentar a água. Sua instalação exige certo esforço financeiro, pois é necessário construir toda a estrutura se a casa ainda não a possui. É preciso instalar as placas coletoras, responsáveis por captar o calor dos raios solares e o *boiler* que armazenará a água aquecida. Seu uso requer um sistema de aquecimento auxiliar (elétrico, a gás, etc.), cuja função é aquecer a água nos dias em que o calor do sol não é o suficiente para aquecer até uma temperatura ideal. Considerando o nível de insolação do Brasil, entretanto, o sistema auxiliar de aquecimento é acionado poucos dias por ano (TIBA, 2000).

O ajuste da temperatura em um aquecedor solar é, normalmente, manual, ou seja, o controle é dado por torneiras que determinam o fluxo de água quente e fria que irá sair no chuveiro. Isso gera certo desperdício de água, o que é corrigido, atualmente, por alguns modelos de misturadores de água automatizados (SOUZA, 2012). Tais misturadores constituem-se de um aparelho mecatrônico hidráulico inteligente que faz o ajuste automático

da temperatura da água disponível para o usuário. Proporciona-se, então, uma redução significativa do consumo de água, pois é preciso acionar apenas uma torneira (registro) para obter a água misturada e na temperatura escolhida com rapidez, eficiência e conforto.

Existem sistemas que utilizam os aquecedores solares em conjunto com o aquecedor elétrico. Esses sistemas, denominados híbridos, reduzem o desperdício, pois aquecem a água até que a água quente do boiler chegue ao chuveiro e contribuem, também, em dias nublados e frios cujo calor para aquecer a água do aquecedor solar é reduzido (DIAS, 2009).

Atualmente, um sistema que vem gerando bastante repercussão é o recuperador de calor, responsável por aproveitar o calor da água usada no banho, por meio de uma troca de calor, para aquecer a água da tubulação. Testes comprovam que a redução do consumo de energia, proveniente do uso deste método, proporciona uma economia de 20% a 30 % na conta de energia de uma residência. A água fria é desviada, por meio de mangueiras especiais, e conduzida para uma plataforma localizada sobre o piso. Em sequência, a água é direcionada para seu curso normal para ser aquecida pelo chuveiro (elétrico, solar, etc.). Após alguns segundos, a água fria começa a entrar em contato com a água do banho (quente) de forma indireta, por meio do trocador de calor especificado, absorvendo uma energia térmica que antes era desperdiçada e jogada no ralo. A água chega ao chuveiro pré-aquecida, fazendo com que esse possa trabalhar com uma potência reduzida (REWATT, 2013).

3.1 Comparativo entre os sistemas

Segundo estudos elaborados pelo Centro Internacional de Referência em Reuso de Água (BERRETTINI, 2009), entidade vinculada à Poli-USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), o chuveiro híbrido é o mais eficiente do ponto de vista econômico. A explicação para sua maior eficiência é a relação de baixo consumo de água e de energia elétrica do sistema.

Para a realização do estudo, foram instalados seis pontos de banho no vestiário dos funcionários da USP, sendo dois pontos com chuveiros elétricos, um com aquecedor a gás, um aquecedor solar, um híbrido e um aquecedor de acumulação elétrico (*boiler*). Entre janeiro e dezembro de 2009, os funcionários voluntários, divididos em grupos, tomaram banhos sem nenhum tipo de restrição sobre abertura do registro, tempo de banho e posição da chave seletora de temperatura nos pontos determinados. A cada três meses, os grupos passaram de um ponto para outro. Os consumos de água, energia elétrica e gás foram medidos por dispositivos especiais e os dados enviados aos computadores do CIRRA.

A Tabela 3 apresenta os custos de aquisição e instalação dos equipamentos relativos a cada tipo de sistema. As Tabelas 4 e 5, respectivamente, apresentam o consumo de água por minuto e o custo de cada banho, de aproximadamente oito minutos, em cada sistema.

Analisando os dados expressos pelas tabelas, pode-se dizer que, dentre os sistemas abordados, o único que apresenta um resultado positivo em relação ao chuveiro elétrico é o sistema híbrido. Esse sistema apresenta vantagem no consumo de energia e no gasto com água. Apesar de seu custo de instalação e aquisição ser mais elevado, na medida em que se aumenta a quantidade de banhos realizados, o custo inicial pode ser compensado.

Tabela 3 - Custo de aquisição e instalação

Sistema de aquecimento de água	Custo de aquisição (em R\$)	Custo de instalação (em R\$)	Custo total (em R\$)	Varição (em relação ao chuveiro elétrico)
Chuveiro elétrico	31	0	31,00	-
Solar	3695	350	4045	+ 12948%
Gás	825	120	945	+ 2948%
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	688	200	888	+ 2765%
Boiler Elétrico	1505	350	1855	+ 5584%

Fonte: Berrettini (2009).

Uma observação interessante é que o chuveiro híbrido possui um custo de aquisição e instalação inferior ao do sistema composto por aquecedores solares. Tal fato justifica-se pela necessidade de um *boiler* com capacidade reduzida para o sistema híbrido.

Tabela 4 - Consumo de água

Sistema de aquecimento de água	Consumo de água (em litros por minuto)	Varição (em relação ao chuveiro elétrico)
Chuveiro elétrico	4,2	-
Solar	8,4	200%
Gás	8,7	207%
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	4,1	- 2.3%
Boiler Elétrico	8,5	205%

Fonte: Berrettini (2009).

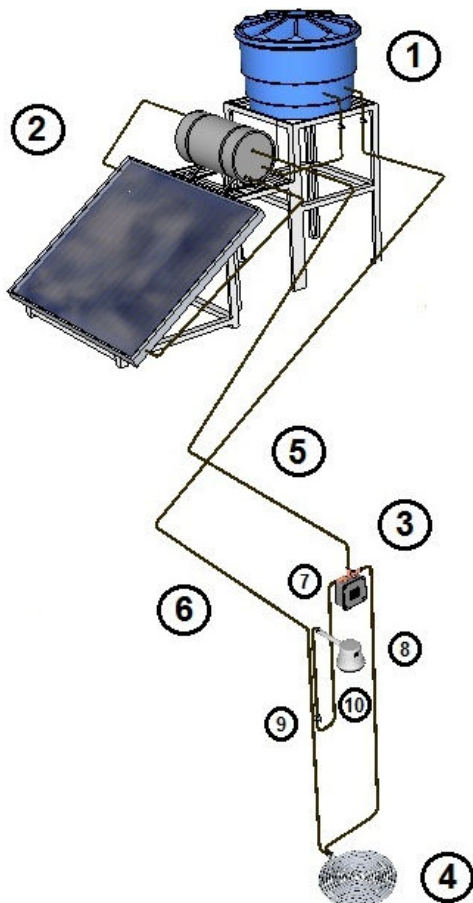
Tabela 5 - Custo por banho de oito minutos (água, energia elétrica e gás)

Sistema de aquecimento de água	Custo (em R\$)	Varição (em relação ao chuveiro elétrico)
Chuveiro elétrico	0,30	
Solar	0,46	+ 53.3%
Gás	0,59	+ 96.6%
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	0,27	-10%
Boiler Elétrico	1,04	+ 246.6%

Fonte: Berrettini (2009).

4 MODELO PROPOSTO

A Figura 1, feita no *software Google SketchUp*, representa o esquema do modelo de aquecimento de água proposto.



- 1- Caixa d'água;
- 2- Sistema de aquecimento solar;
- 3- Misturador de água automatizado;
- 4- Recuperador de calor;
- 5- Saída de água quente proveniente do aquecedor solar;
- 6- Saída de água fria proveniente da caixa;
- 7- Saída de água temperada proveniente do misturador automático;
- 8- Saída de água morna proveniente do recuperador de calor;
- 9- Registro;
- 10- Chuveiro.

Figura 1 - Esquema do modelo proposto
Fonte: Autores.

O primeiro sistema incorporado ao modelo é o aquecedor solar. Como principal vantagem, esse sistema retira o chuveiro, parcialmente, do sistema elétrico brasileiro.

Entretanto, o aquecedor solar possui algumas desvantagens, como a sua ineficiência em dias nublados e, o mais importante: consome-se grande quantidade de água para que a água fria saia da tubulação e chegue ao chuveiro com temperatura ideal e, além disso, consome-se outra parcela para ajustar manualmente a temperatura, por meio da mistura de água quente e fria.

Ressalta-se que o desperdício de água, nos dois instantes, pode ser atenuado por meio de um sistema com misturador automatizado que regula a temperatura o mais rápido possível, com o intuito de reduzir o desperdício de água (SOLETROL, 2011). Sistemas automatizados já existem no mercado, mas são inviáveis para a população de baixa renda. Como incentivo à redução de custo da proposta descrita neste projeto, tem-se a utilização de sensores de temperatura e de materiais construtivos de baixo custo, ou materiais de fácil aquisição no cotidiano.

Um sistema recuperador de calor também é inserido ao modelo, similar ao desenvolvido com o apoio da CEMIG (ROCHA *et al.*, 2009), e consiste em reaproveitar o calor da água já usada fazendo uma troca de calor com a água fria que ainda será utilizada. Isso é perfeito para aumentar a eficiência do sistema, principalmente quando se está em dias nublados, onde há uma redução da vazão de água quente proveniente do *boiler* do aquecedor solar. O recuperador de calor pode, inclusive, reduzir o volume necessário para o *boiler*, uma vez que utilizará menos água quente (reduzindo o custo do projeto).

4.1 Controle eletrônico do chuveiro

Para a realização do controle automatizado do chuveiro é necessário um estudo referente a alguns conceitos de eletrônica. A ideia do controle automatizado surge a partir da necessidade de controlar a vazão de água proveniente do aquecedor solar e do sistema recuperador de calor.

4.1.1 Microcontroladores

Um microcontrolador é um sistema computacional completo, constituído por uma CPU (*Central Processor Unit*), memória de dados e de programa, um sistema de *clock*, portas de entrada e saída (*Input/Output*), além de outros possíveis periféricos, tais como, módulo de temporização e conversor analógico-digital (DENARDIN, 2014). Os microcontroladores são vastamente utilizados no controle de processos lógicos devido à sua inteligência programável.

O modo de operação, entretanto, irá variar de acordo com a necessidade apresentando-se como uma solução viável em função do baixo custo e facilidade de uso (PEREIRA, 2003).

O Arduino Mega 2560 é uma plataforma de prototipagem eletrônica que pode ser usada no controle do chuveiro. Essa plataforma consiste de uma placa de microcontrolador baseada no ATmega2560 fabricado pela ATMEL. Seu uso permite o desenvolvimento do controle de sistemas interativos, de baixo custo e boa acessibilidade, além de dispor de material (*software*, bibliotecas e *hardware*) *open-source*, ou seja, pode ser reproduzido e usado por todos sem a necessidade de pagamento de direitos autorais (ARDUINO, 2014).

4.1.2 Modulação por largura de pulso (PWM)

A Modulação por Largura de Pulso *Pulse Width Modulation* (PWM) é um recurso muito utilizado para o controle de motores e conversores CC em geral. Apesar de ter saída digital, que assume apenas os níveis lógicos alto e baixo, a modulação gera uma onda quadrada cuja frequência é constante e largura de pulso variável, possibilitando, assim, um controle analógico.

A frequência de uma onda pode ser definida como a quantidade de vezes que ela se repete em um segundo. E o período é o tempo de cada parte dessa onda que irá se repetir. O *duty-cycle* (ciclo ativo) define o tempo de sinal ativo (nível lógico alto) em determinado período. Assim, quando se tem um *duty-cycle* de 100%, existe um nível lógico alto por todo o período. Um *duty-cycle* de 50% define a metade do período em nível lógico alto e a outra metade em nível lógico baixo (DREHER, 2008).

O Arduino Mega 2560 possui 14 portas geradoras de sinais PWM. Estes sinais são capazes de fazer o controle da vazão de água de cada sistema utilizado no chuveiro, uma vez que a vazão deve ser controlada por motores CC (bombas de água) conectados ao sistema de aquecimento solar e ao sistema recuperador de calor. Sendo assim, uma vazão de água fixa será fornecida ao usuário, porém haverá uma variação de qual sistema fornecerá maior vazão, de acordo com a temperatura requerida.

4.1.3 Sensores

Um sensor produz uma resposta elétrica a mudanças de condições físicas, tais como temperatura, campo magnético e luz. Vários modelos de detecção podem ser construídos,

sendo baseados na necessidade da aplicação e características dos dispositivos (MOREIRA, 2001). A leitura dos sensores, realizada pelo Arduino Mega 2560, é feita a partir das entradas de um conversor analógico-digital (A/D) existente em sua estrutura. Utilizando o conversor A/D é possível transformar sinais reais e contínuos no tempo, como a temperatura, em sinais que possam ser processados no computador.

Para coletar informações referentes ao valor de temperatura, pode-se utilizar o sensor de temperatura LM35, um sensor de boa precisão e baixo custo, fabricado pela *National Semiconductor*. Esse tipo de sensor apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura, tendo em sua saída um sinal de 10 mV para cada °C de temperatura, podendo variar de -55 a 150 °C, de acordo com sua folha de dados (*datasheet*).

4.2 Lógica de controle

Para fazer o controle eletrônico do chuveiro é necessário o uso de quatro sensores LM35, sendo que um sensor é referente à temperatura de saída do aquecedor solar, um ao recuperador de calor, um ao misturador e um à saída do chuveiro. Além dos sensores, fazem parte do sistema de controle duas bombas de água para realizar o controle da vazão de cada sistema acoplado ao chuveiro. Para isolar eletricamente a parte de controle da parte de potência se utilizou um driver de potência composto por relés e optoisoladores. A Figura 2 mostra o esquema de montagem do circuito de controle e acionamento do misturador automatizado feito no *software Fritzing*.

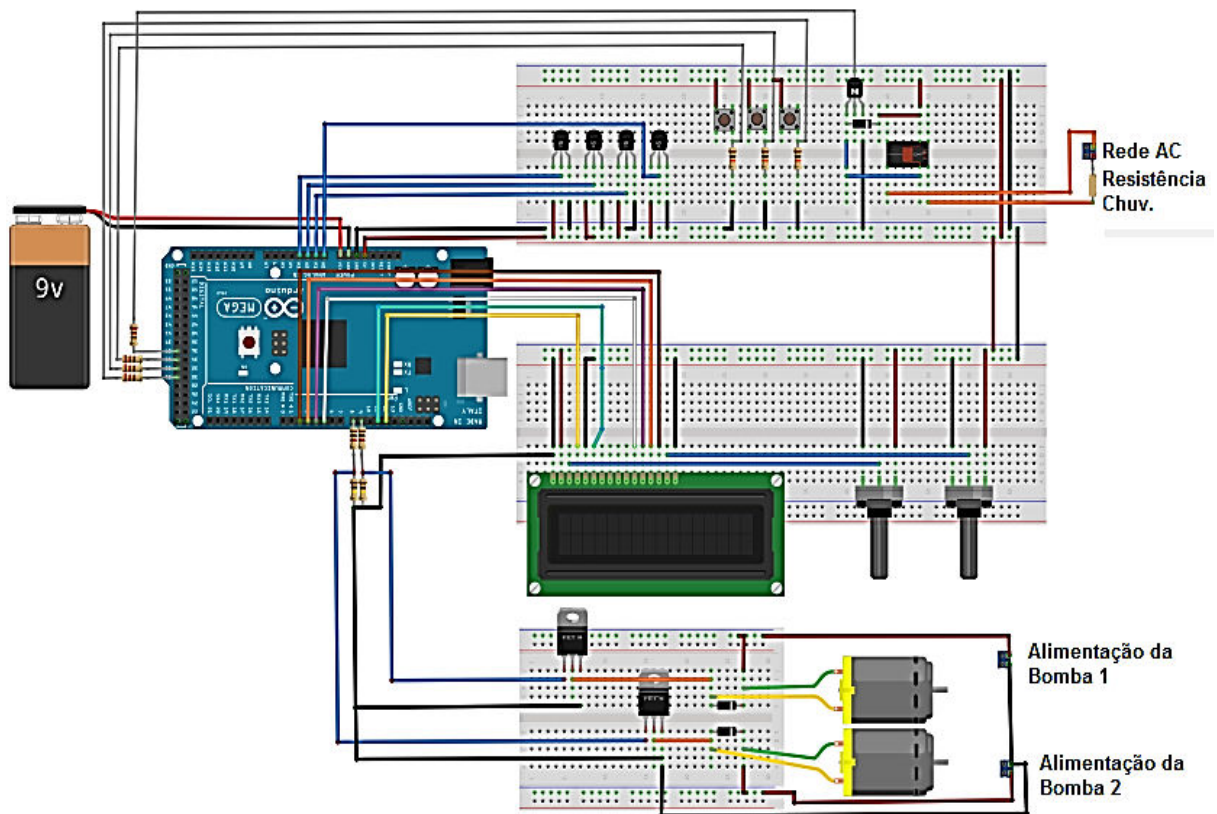


Figura 2 - Circuito de controle e acionamento do misturador automatizado
Fonte: Autores.

O programa de controle do chuveiro foi feito a partir de um compilador, próprio para Arduino. A lógica utilizada consiste, basicamente, em comparar a temperatura escolhida pelo usuário do chuveiro com as temperaturas dos sistemas e, então, regular a vazão de cada sistema para atingir a temperatura escolhida no misturador.

Antes de ligar o chuveiro, o usuário terá de escolher a temperatura para o banho. O valor da temperatura é expresso em um *display* LCD e a escolha do valor da temperatura é feita por meio de botões para aumentar ou diminuir o valor. Um terceiro botão fará a seleção de tal temperatura.

Após a escolha do valor de temperatura, o sistema, inicialmente, ligará as bombas de água com o PWM de 50% para cada bomba, ou seja, 50% de água proveniente do aquecedor solar e 50% proveniente do recuperador de calor. Se a temperatura escolhida é maior que a temperatura do misturador, verifica-se qual sistema (Aquecedor ou Recuperador) apresenta-se com maior temperatura; após essa verificação, acrescenta-se 1% do PWM da bomba referente ao sistema com maior temperatura e diminui-se 1% do PWM da bomba referente ao outro

sistema. Dessa forma, a vazão de água permanecerá constante, pois a porcentagem de água entregue será sempre 100%.

Se o misturador apresentar um valor de temperatura maior que o escolhido, o processo descrito anteriormente é inverso e o aumento de vazão passa a ser do sistema mais frio. Quando o misturador atingir a temperatura escolhida, o sistema mantém a porcentagem de vazão anterior de cada bomba até que a temperatura do misturador desestabilize-se novamente.

Ressalta-se que se o ajuste de algum dos sistemas chegar a 100% e, conseqüentemente, o outro a 0%, o controle não permite que se acrescente ou se diminua mais o PWM. O sistema somente irá se alterar quando houver necessidade de diminuir o sistema que está ligado com 100%. Por fim, se a temperatura final do chuveiro ainda não atingir o valor escolhido, ou seja, a temperatura de saída do chuveiro for menor que a temperatura escolhida, liga-se a resistência elétrica para compensar esse valor. O processo será repetido até que o usuário queira trocar o valor da temperatura, ou simplesmente desligue e ligue o chuveiro novamente.

5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Um modelo de garrafas PET para o aquecedor solar foi implementado como forma de reduzir os custos da realização do projeto. Com isso, reutilizam-se materiais que virariam lixo, como garrafas de plástico (PET) e caixas de leite, em um sistema de aquecimento de água que funciona exatamente igual ao produzido industrialmente. Apesar de apresentar um rendimento reduzido, não inviabiliza o projeto, e, sendo seu custo muito menor, pode ajudar milhares de famílias a obter este sistema e contribuir para a economia de energia elétrica.

Para a confecção do *boiler*, utilizou-se um galão de água mineral de 20 litros, revestido com camadas de isopor para manter o calor da água dentro do reservatório. A caixa d'água foi conectada na parte inferior do boiler do sistema por meio de uma mangueira.

Com um cano de latão fino foi possível fazer o recuperador de calor. O misturador, que recebe uma entrada vinda do aquecedor solar e outra do recuperador de calor, foi implementado com uma conexão do tipo T. A Figura 3 ilustra a maquete do chuveiro completa, onde as partes constituintes do modelo proposto podem ser observadas.

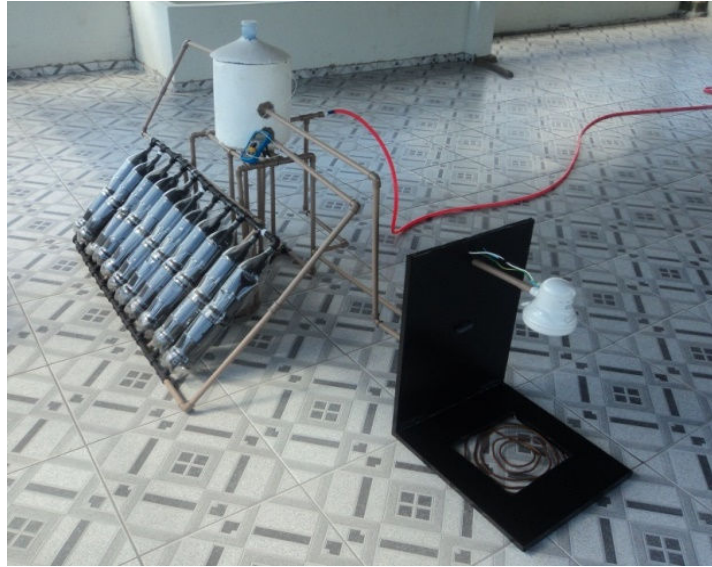


Figura 3 - Protótipo do sistema proposto
Fonte: Autores.

5.1 Testes do aquecedor solar

Medições de temperatura referentes ao aquecedor solar foram obtidas com o uso de um multímetro ET-1110 DMM da *Minipa*, testando a eficiência do protótipo de garrafas PET. As medições foram realizadas durante quatro dias e em determinados horários. Além da temperatura do reservatório, foram observadas as temperaturas ambientes e da água da caixa. Os valores foram anotados e estão transcritos na Tabela 6, onde podem ser verificados de acordo com a quantidade de horas de exposição do sistema ao sol.

Tabela 6 - Medições da Temperatura do Aquecedor solar de Garrafa PET

Dias de medição	Temperaturas	Temperatura em °C a partir de horas de exposição ao sol				
		1 hr	2 hrs	3 hrs	4 hrs	5 hrs
1°	Ambiente	25	27	28	28	26
	Caixa d'água	22	24	24	23	23
	<i>Boiler</i>	29	35	39	42	44
2°	Ambiente	27	27	28	29	29
	Caixa d'água	24	24	23	23	23
	<i>Boiler</i>	30	37	45	49	51
3°	Ambiente	24	26	26	27	27
	Caixa d'água	23	23	24	23	22
	<i>Boiler</i>	28	35	37	40	41
4°	Ambiente	29	30	30	31	30
	Caixa d'água	24	24	25	25	25
	<i>Boiler</i>	31	39	46	51	54

Fonte: Autores.

Ao analisar os dados transcritos na tabela 6, percebe-se que o aquecedor consegue aquecer a água do *boiler* consideravelmente. No entanto, o protótipo construído possui algumas perdas de calor, um exemplo é a perda referente ao *boiler*, uma vez que a tampa é removível e ocorre uma pequena troca de calor com o ambiente externo. Essas perdas podem ser atenuadas com o uso correto de um *boiler* fechado.

Ao comparar com um aquecedor solar comercial, cuja temperatura atingida varia de 50 a 70° C (SOLETROL, 2011), nota-se que o sistema apresenta temperaturas inferiores ao aquecedor tradicional, porém, como a temperatura ideal para banho varia de 29 a 37° C (YES! COSMETICS, 2008), seu uso torna-se viável.

5.2 Testes do programa de controle

Para a realização de testes referentes à parte de controle, desenvolveu-se uma espécie de *shield* que consiste em integrar os componentes eletrônicos com a plataforma do Arduino Mega 2560. Tal *shield* é disposto de forma com que, além da alimentação, os componentes, tais como os sensores e os motores das bombas, possam ser facilmente inseridos ou removidos, por meio de bornes, do circuito para manutenção, troca ou desligamento do sistema.

Os sensores LM35 foram inseridos diretamente nos bornes especificados e foram submetidos a alterações de temperatura para que a lógica de programação fosse testada sobre qualquer tipo de situação de operação. Duas pontas de prova provenientes de um osciloscópio foram utilizadas para a análise das formas de onda referente às saídas PWM do microcontrolador, no caso as saídas que controlam qual sistema fornece maior quantidade de água. As figuras 4-a), 4-b) e 4-c) representam a forma de onda das saídas PWM, sendo que a onda superior é referente ao recuperador de calor e a onda inferior é referente ao aquecedor solar.



Figura 4 - Forma de onda das saídas PWM do Arduino Mega 2560

Fonte: Autores.

Nota-se, a partir da análise das formas de onda provenientes do osciloscópio, que as saídas PWM do microcontrolador comportaram-se exatamente como o esperado pela lógica de controle, representando o acionamento correto da bomba de controle da vazão de água que cada sistema deve fornecer.

6 CONCLUSÃO

É claramente notável que a utilização de sistemas para aquecimento de água para o banho pode ser obtida de forma mais eficiente. Fazendo o uso de materiais alternativos, um sistema que visa à economia de energia para chuveiros torna-se acessível até mesmo para uma população de baixa renda, contribuindo para a redução de gastos com a conta de energia.

Nota-se, com a realização do projeto, a viabilidade da utilização do aquecedor solar de garrafas PET. Conclui-se que sua inserção em residências comuns poderá ser eficaz, uma vez que os níveis de temperatura alcançados por ele superam os valores normais para condições de banho.

A implementação da lógica de controle descrita faz uma otimização nos processos de aquecimento de água, proporcionando um avanço tecnológico no que se trata de eficiência energética. Uma vez que sua utilização garante uma diminuição considerável no consumo de energia elétrica, pode-se gerar um descongestionamento das linhas de transmissão e, conseqüentemente, uma redução da demanda em horário de ponta do sistema elétrico brasileiro.

Como sugestão para trabalhos futuros, um protótipo em escala real pode ser implementado visando a uma comparação efetiva com as demais alternativas de aquecimento da água destinada ao banho. Sendo assim, todos os custos de instalação, aquisição e consumo podem ser determinados para definir a eficiência do sistema proposto.

REFERÊNCIAS

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Homologatória ANEEL Nº 1872 de 08 de abril de 2015. Homologa o resultado do reajuste tarifário anual, fixa as Tarifas de Energia - TE e as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição - TUSD, referentes à Cemig Distribuição S.A - Cemig-D. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF. Seção 1. 08/04/2015. p. 54. Disponível em: <<http://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:agencia.nacional.energia.eletrica:resolucao.homologatoria:2015-04-08;1872>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

ARDUINO. **Arduino Home Page**. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

BERRETTINI, L. F. **Estudo do CIRRA/USP acaba definitivamente com fama de vilão do chuveiro elétrico**. 2009. Disponível em: <<http://www.banhoeconomico.com.br/down/ci160310.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2011.

CRISPIM, J. E. **Considerações sobre produção de energia no Brasil**. Urussanga, SC: [s.n.], 2010.

DENARDIN, G. W. **Microcontroladores**. Joinville, SC, 2014. (Apostila). Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/eduardo_henrique/materiais/apostila_micro_do_Gustavo_Weber.pdf>. Acesso em: 10 out. 2011.

DIAS, H. **Chuveiro híbrido de elétrico e solar é a opção mais barata e ecológica**. São Paulo: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/chuveiro-hibrido-de-eletrico-e-solar-e-a-opcao-mais-barata-e-ecologica>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

DREHER, J. R. **Módulo IV: comandos industriais II chaves de partida suave soft-starter e inversor de frequência**. (Apostila). Santa Catarina: CEFET/SC – Unidade de Chapecó, 2008.

FRANCISQUINI, A. A. **Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição**. 2006. xiv, 94 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/87273>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

FURLANETTO, C.; POSSAMAI, O. O uso da energia elétrica no ambiente residencial. In: ANAIS ELETRÔNICOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ABEPRO)., 5, 2001, Rio de Janeiro. **Anais Eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2001. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?ano=2001&area=&pchave=O+uso+da+energia+el%E9trica+no+ambiente+residencial&autor=Furlanetto>>. Acesso em: 13 jan. 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2011. 422 p.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. **Datasheet: LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. [S. l.: s.n.], 1994.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: programação em C**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2003.

REWATT. **Indústria e comércio de recicladores de energia: o banho de conforto e economia**. 2011. Disponível em: <<http://www.rewatt.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2011.

ROCHA, D. A. et al. Recuperador de calor para chuveiros elétricos de consumidores de baixa renda. **Revista Eletricidade Moderna**, n. 428, nov. 2009.

SOLETROL. **Como funciona um aquecedor solar**. 2011. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

SOUZA, R. L. **Automatização de chuveiro com misturador de água quente/fria através de controle de temperatura e vazão da água**. 2012. 100 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) – Centro Universitário de Brasília, Brasília.

TIBA, C. et al. **Atlas solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.

YES! COSMETICS. **Banho na temperatura certa**. 2008. Disponível em: <<http://yescosmetics-novafriburgo.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

ZENHA, A. de O. **Tarifa de Energia Residencial Social**. Belo Horizonte: [s.n.], 2006. Disponível em: <<https://rededepesquisasemfavelas.files.wordpress.com/2012/05/503.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2011.

Recebido em: 02/05/2015

Aprovado em: 26/09/2015

Publicado em: 15/01/2016